

# ロランC電波を利用した漂流ブイ

小野房吉・佐久間清・福島資介　：　海洋研究室

## LORAN-C Retransmitting Buoy

Fusakichi Ono, Kiyoshi Sakuma, Motosuke Fukushima  
Marine Research Laboratory

### 1. まえがき

広大な海の流れの態様を詳しく知ることは、海洋学ばかりではなく船舶の経済的運行、遭難船舶等の効率の搜索救助活動、海洋開発、漁業、海洋レジャーの安全確保等のため重要であり、当部では精力的に海流データの収集蓄積を行っている。

海の流れを調査する手段としては、古くは「海流瓶」、近年は地磁気の鉛直成分を利用した「電磁海流計」最近では音波ログを使用した「超音波流速計」が実用化され広く使用されるようになった。超音波流速計の出現はそれまでの調査手法に比べて調査能力と精度の飛躍的向上をもたらし、それだけで画期的であったが、素晴らしさはむしろ表面ばかりではなく、数百メートルまでの各層の流れが通常の航行速度で測定できるようになったことである。しかし、こうした近代的な海流調査機器も欠点がないわけではない。船舶に搭載して使用するこの装置は、海況条件によって誤差が発生し、一定以上に「しけ」た海では殆どまとまらぬ測定値を示さない。誤差の発生具合は、取りつけた船舶の型式、運行状況（動揺の具合）によって異なるから、この装置を有効に利用するためには、様々の海況条件下での検定が必要である。

そこでこの検定には、同様の海況条件下で「真の流れ」を示す基準が必要である。基準としてなにを使うのが最も適当かは意見が分かれるが、ここはやはり原始的であるが、物を流してみるのが最も確実である。物を流し、その物の海流によって運ばれた流跡を時間的に細かく追跡し方向速度を記録する。風圧流の防止が必要な場合は、適当な水深にシーアンカーで保持すればよい。

このような観点から先に当部では「緊急用海潮流測定装置」を開発したが、このたびこの装置を現場で使いやすくするために、小型軽量化を図り、その後考案された電波速度計の原理を導入して高精度とした「漂流ブイ式海潮流測定装置」を開発したので報告する。

### 2. 漂流ブイの測地経緯度の決定

ブイの測地座標に対する漂流速度を求めるには、その前にブイの測地経緯度が分かっているなければならない。この測位のためにLC (LORAN-C) システムを利用する。LCシステムは搬送波の周波数が100 kHzのパルスを用いた双曲線方式の無線航行援助システムで、主局とこれに対し一定の関係で同期した電波を発射する複数の従局で構成されている。

この電波を海上で受信し、主局に対する従局の電波の到来時間差を測定し、これから受信点の測地経緯度を求める。データから測地経緯度への変換方法は双曲線方式、距離方式( $\rho-\rho$ 方式)があるが、ここではより汎用性が高く、両方式にも共通に適用できる一般解について述べる。

### 測位原理

地球上の一点A ( $\phi_1, \lambda_1$ )の電波発射局から一定の繰り返しでパルス電波が発射されている。この電波を別の一点B ( $\phi_x, \lambda_x$ )で受信し、同じ繰り返しの基準パルスに対して倒来時間差TDを測定すると、TDは発射点の基準パルスと受信点の基準パルスの起点が一致しているときA-B間の電波伝播時間 $\tau$ に等しい。しかし、一般には両点の基準パルスの同期は確立していないから、この同期誤差を $\Delta T$ としたとき

$$TD = \tau + \Delta T \quad (1)$$

今点Aが既知、受信点Bが未知でその推定位置をB' ( $\phi_0, \lambda_0$ )とすると

$$\left. \begin{aligned} \phi_x &= \phi_0 + \Delta\phi \\ \lambda_x &= \lambda_0 + \Delta\lambda \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

である。

そこで、点AからB'までの電波伝播時間 $\tau'$ をそれぞれの測地経緯度から計算し( $TD - \tau'$ )、すなわち測定値-計算値(O-C)を求める。この(O-C)と(1)、(2)式の未知数 $\Delta T$ 、 $\Delta\phi$ 、 $\Delta\lambda$ を結びつける観測方程式を立てると

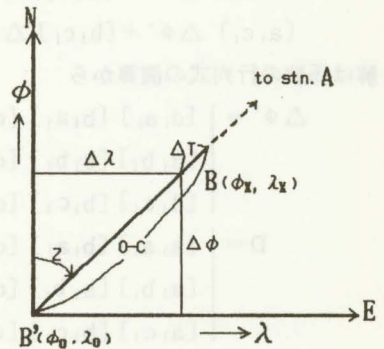
$$(O - C) = \Delta\phi' \cos Z + \Delta\lambda' \sin Z + \Delta T \quad (3)$$

$$\text{ただし } \Delta\phi = \alpha \Delta\phi', \quad \Delta\lambda = \beta \Delta\lambda'$$

$\alpha, \beta$ は単位換算定数

Zは推定位置B'から見た電波発射点Aの北から東回りに測った計算方位である。

この観測方程式で未知数は三つであるから、他にA点の局と一定の関係で同期した電波を発射する2地点からの電波を受信し、あと2つTDを測定すると、これについても(3)式と同様な方程式ができるからすべての未知数が解ける。ただし、この観測方程式は実際の受信位置と推定位置があまり離れていないとして平面で近似しているから、これが離れすぎている場合には一回の計算では、収束せず $\Delta\phi$ 、 $\Delta\lambda$ が十分小さくなるまで収束計算する逐次近似法で解く。また電波の到来方向Zは互いに同一でないことが条件である。



第1図 観測方程式の図解

つぎに以上の原理のLCへの適用例について述べる。LCシステムは一つの主局と一定の関係で同期した電波を発射する複数の従局によって構成されている。従局はその局に特有な一定のEmission Delay (ED)で電波を発射し、電波発射順に、W, X, Y, Z等の符号で識別されている。この電波を受信し、受信点の基準パルスに対して倒来時を測定したとすると、そのデータ $TD_{M, w, x, y, z}$ の内容は

$$\left. \begin{aligned} TD_M &= \tau_M + \Delta T \\ TD_w &= \tau_w + ED_w + \Delta T \\ TD_x &= \tau_x + ED_x + \Delta T \\ TD_y &= \tau_y + ED_y + \Delta T \\ TD_z &= \tau_z + ED_z + \Delta T \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

これらの各データについて、受信点の推定位置を与えてここから各局までの電波伝播時間 $\tau'$ を計算し(O-C)を求める。すなわち



$$\left. \begin{aligned} (O-C)_M &= TD_M - \tau_M' \\ (O-C)_W &= TD_W - \tau_W' - ED_W \\ (O-C)_X &= TD_X - \tau_X' - ED_X \\ (O-C)_Y &= TD_Y - \tau_Y' - ED_Y \\ (O-C)_Z &= TD_Z - \tau_Z' - ED_Z \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

この (O-C) について次の観測方程式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} (O-C)_M &= \Delta \phi' \cos Z_M + \Delta \lambda' \sin Z_M + \Delta T \\ (O-C)_W &= \Delta \phi' \cos Z_W + \Delta \lambda' \sin Z_W + \Delta T \\ (O-C)_X &= \Delta \phi' \cos Z_X + \Delta \lambda' \sin Z_X + \Delta T \\ (O-C)_Y &= \Delta \phi' \cos Z_Y + \Delta \lambda' \sin Z_Y + \Delta T \\ (O-C)_Z &= \Delta \phi' \cos Z_Z + \Delta \lambda' \sin Z_Z + \Delta T \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

こうして観測方程式ができれば未知数の解は最小二乗法を適用して次のように全く機械的に得られる。すなわち  $\cos Z_i = a_i$ ,  $\sin Z_i = b_i$ ,  $1 = c_i$ ,  $(O-C)_i = d_i$  と置き,  $[a_i a_i]$ ,  $[b_i a_i]$ ,  $[c_i a_i]$ ,  $[d_i a_i]$ ,  $[b_i b_i]$ ,  $[c_i b_i]$ ,  $[d_i b_i]$ ,  $[c_i c_i]$ ,  $[d_i c_i]$ ,  $i = M, W, X, Y, Z$  を計算すると正規方程式は

$$\left. \begin{aligned} [a_i a_i] \Delta \phi' + [b_i a_i] \Delta \lambda' + [c_i a_i] \Delta T &= [d_i a_i] \\ [a_i b_i] \Delta \phi' + [b_i b_i] \Delta \lambda' + [c_i b_i] \Delta T &= [d_i b_i] \\ [a_i c_i] \Delta \phi' + [b_i c_i] \Delta \lambda' + [c_i c_i] \Delta T &= [d_i c_i] \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

解は係数の行列式の演算から

$$\Delta \phi' = \begin{vmatrix} [d_i a_i] & [b_i a_i] & [c_i a_i] \\ [d_i b_i] & [b_i b_i] & [c_i b_i] \\ [d_i c_i] & [b_i c_i] & [c_i c_i] \end{vmatrix} / D \quad (8)$$

$$D = \begin{vmatrix} [a_i a_i] & [b_i a_i] & [c_i a_i] \\ [a_i b_i] & [b_i b_i] & [c_i b_i] \\ [a_i c_i] & [b_i c_i] & [c_i c_i] \end{vmatrix} \quad (9)$$

$\Delta \lambda'$ ,  $\Delta T$  の未知数も同様に解ける。

通常 (O-C) は, 電波伝播時間を  $\mu$  sec 単位で測った距離であるから, これを測地経緯度に変換するには次の定数を乗ずる。

$$\alpha = 0.0027, \quad \beta = \alpha / \cos \phi_0 \quad (10)$$

$$\Delta \phi = \alpha \wedge \phi', \quad \Delta \lambda = \beta \Delta \lambda'$$

こうして  $\Delta \phi$ ,  $\Delta \lambda$  が解ければ, これを(2)式に代入して受信点の経緯度が求まる。電波伝播時間及び受信点から見た方位の計算式は付録に掲げた。

この測位計算法では, 受信点に確立された基準パルスに対して受信電波の到来時を測定したデータに関して解法を示したが, 受信点の基準パルスの同期誤差を未知数としているので, 基準パルスの位相を主局電波の到来時に一致させても一向に差し支えない。つまり, 従来の双曲線方式のデータでもそのまま適用できる。この場合の主局対応データ  $TD_M$  は "0" となる。そして  $TD_M = 0$  として解かれた,  $\Delta T$  は主局と受信点との間の電波伝播時間に等しい。ついでに申しておけば距離方式データは観測方程式の  $\Delta T$  が "0" の特別の場合に相当し, パルス電波の発射時と受信点の基準パルスの同期が完全にとれた状態である。

(5)式における方位  $Z$  の計算は, 収束する方向であればよいから, 精度は相当ラフでよい。

### 3. 漂流速度の検出

漂流速度は、位置の時間経過に伴う変化から求めるのがオーソドックスで分かり易いが、こうした一般的方法は、回りくどく高精度高速処理を必要とするオンライン処理には利口な方法とは言えない。何故なら一般的に速度に対応する測定データの変化は、短時間では下の桁が少々動くに過ぎないのに、これから速度を求めるのに、刻々の測地経緯度を求めてから速度変換する場合は、地球の半径や三角関数を使った複雑な演算を7桁で実行し、下位桁の変化を求めることになるからである。従って、オーソドックスな方法での速度計算はデータから位置を求める段階で、桁落ちによる精度低下が生じているから、こうした二次データを使って速度を求めても時間間隔を相当長くしないと高精度が得られないのである。

以下TD変化分から直接測地座標上の速度を求める方法について述べる。

前述の測位計算法は一般解である。従って、この測位計算法はデータとしてTD測定値の変化分を使えば(6)式は、そのまま速度を求める観測方程式となる。その場合の  $(O - C)_i$  の代わりにTD測定値の変化分  $Dt_i$  を代入すればよい。

そこで今経緯度方向の速度成分をそれぞれ  $V_N, V_E$  として(3)式を  $Dt_i$  について書き直せば

$$Dt_i = V_N \cos Z_i + V_E \sin Z_i + Df_{i=M, w, x, y, z} \quad (11)$$

こうして各局の  $Dt_i$  について連立方程式を作れば  $V_N, V_E, Df$  の未知数がすべて解ける。ここで  $Df$  は基準発信器のドリフトである。双曲線方式データの場合には、主局電波の変化分(主局方向速度成分)である。

これから速度の絶対値  $V$  は

$$V = \sqrt{V_N^2 + V_E^2} \quad (12)$$

北から東回りに測った進行方向  $A_Z$  は

$$\theta = \cos^{-1}(V_N / V) \quad (13)$$

$$AZ = \theta \quad \text{ただし} \quad V_E \geq 0$$

$$AZ = 2\pi - \theta \quad V_E < 0$$

一般に測定データの精度が同じとき速度測定精度を向上させる場合はデータの測定間隔を広げて対処するが、これでは時間分解能が悪くなり不都合である。そのため、ここでは速度に対応する変化分の検出精度を向上させるため以下の工夫を行った。

隔差2階移動平均法：従来の単純移動平均では、時間間隔を長くするいわゆる時間平均のみに着目したが、時間平均とデータ平均を同時に行えばその相乗効果で精度の飛躍的向上が期待できる。すなわち、一定時間間隔  $t$  で連続的に取得されるデータの、指定した  $n$  個置き(時間平均)を  $n$  個積算(データ平均)する移動平均をとる方法である。以下具体的に説明する。

移動体上で航法電波を受信し、一定時間毎に時間差データを取得すると、その測定データは移動体の速度に比例した量の変化を示す。いま従局1の測定データ例を  $a_1, a_2, \dots$  従局2のデータ列を  $b_1, b_2, \dots$  とし

$$\left. \begin{array}{ccccccc} (a_{n+1}-a_1), & (a_{n+2}-a_2), & (a_{n+3}-a_3), & \dots & (a_{n+i}-a_i) \\ (b_{n+1}-b_1), & (b_{n+2}-b_2), & (b_{n+3}-b_3), & \dots & (b_{n+i}-b_i) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \end{array} \right\} \quad (14)$$

を計算する。この計算値は受信点が送信局に対して移動しているときに生じる変化分であるから、移動していなければ"0"である。これをデータの何個置きかの差をとるので隔差という。つぎに隔差の  $n$  個の和  $D_i$  を計算する。



$$\left. \begin{aligned} D_a &= \{(a_{n+1}-a_1) + (a_{n+2}-a_2) + (a_{n+3}-a_3) + \dots + (a_{n+n}-a_n)\} \\ D_b &= \{(b_{n+1}-b_1) + (b_{n+2}-b_2) + (b_{n+3}-b_3) + \dots + (b_{n+n}-b_n)\} \\ D_c &= \dots \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

こうして求められる  $D_a, b, c$  は、受信点が送信局に対して移動することによって生ずる測定値の変化分の  $(n^2t)$  倍になる。 $n$  が大きくなれば時間と積算個数が増えるからである。そこでこれを速度データとするには  $D_a, b, c$  を  $(n^2t)$  で除して使用する。即ち(11)式の  $Dt_i = D_i / n^2t$  とする。

このように同じ移動速度に対する変化分が拡大して検出されることは分解能の向上を意味する。

#### 4. 開発した漂流ブイ

ブイに市販されている超小型 LC 受信機とドップラー効果検出用のポケット型電子計算機 (ポケコン), モデム部及びデータ伝送用の無線送信機を内蔵して海潮流を測定する漂流ブイとした。(第2図)

この LC 受信機は LC 電波を受信すると、特定の 2 従局のデータを自動的に選択し、従来の双曲線方式で受信点の測地経緯度に変換し、その経緯度と時間差測定データ (TD) 4 局分を RS232C 準拠のシリアルデータとして 3 秒毎にポケコンに出力する。ポケコンでは速度成分 (TD データの変化分) を計算する他、測位が重要である場合は TD の全データを使って先の方法で経緯度の再計算を行う。速度だけが重要である場合には、この計算は行わず LC 受信機の出力位置をそのまま、速度データとともに一定時間毎に超短波で無線伝送する。

ここで、ポケコンでドップラー成分の演算のみにとどめ測地座標上の速度まで求めないのは、ポケコンの計算速度が遅いため、伝送先の計算機で計算分担させるためである。

#### 諸 元

##### ロラン C 受信機

周波数	100kHz,	感度(追尾)	5 $\mu$ V/m
測定方法	自動捕捉, 自動追尾		
追尾局数	主局 + 4 従局, 追尾速度 0 ~ 40 kn		
ノッチフィルタ	3,		
表示分解能	0.1 $\mu$ sec (時間差), 0.01' (緯度経度)		
データ出力	シリアル調歩式, NRZ 方式, 4800 ボー,		
	55文字		

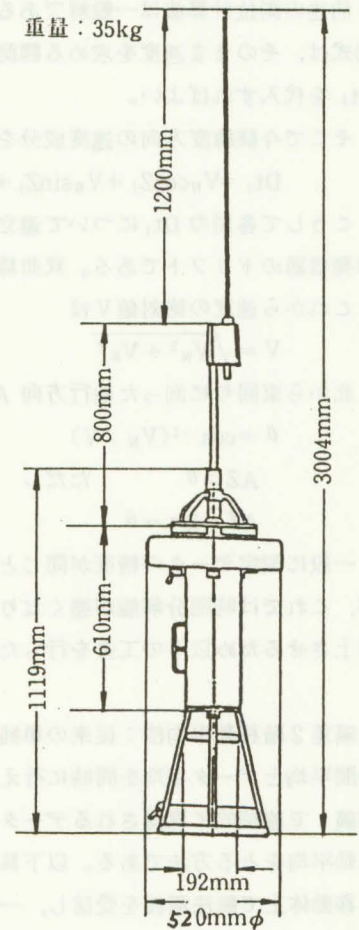
##### コンピュータ (SHARP PC-1600K)

プログラム言語 BASIC

CPU (メイン) SC7852 (3.58 MHz), LH 5803 (1.3 MHz)

(サブ) LU57813P (307.5KHz)

ROM 96Kバイト (BASIC インタプリタ), 128Kバイト (漢字)



第2図 測流ブイ

R A M	16Kバイト (ユーザーエリア 10290バイト)
計算機能	加減乗除算, 関数計算12種類
インターフェイス	RS232C, SIO, アナログ 入力

#### インターフェイス基板

パワーコントロール	電源ON/OFF制御
モデム	DC~1200ボー FSK モデム
ロランインタフェイス	フォトカプラー入力
レベル変換回路	RS232C-TTLの交互レベル変換

#### 送信機

送信周波数	169.65MHz
電波の型式	F2D
送信出力	1W/50 $\Omega$ (+20%, -50%)
変調方式	周波数変調
通信方式	単向通信方式
占有周波数帯域幅	16kHz 以下
副搬送波変調方式	FSK方式 マーク 1300Hz, スペース 2100Hz
副搬送波変調符号形式	NRZ方式
副搬送波変調速度	1200ボー
アンテナ	1.2mホイップ (ロランC電波受信と共用)
使用条件	温度0°~40°C, 湿度20~90%

電源	DC12V, 15AH 密閉型鉛蓄電池
----	---------------------

#### 5. 受信処理部

受信処理部は、超短波受信機、モデム部、データ処理部及び画像表示部からなり、受信データのうち経緯度データを画面にプロットし、プイの漂流軌跡を描き、位置及び速度データから測地座標上の速度を計算し、データ集録する。集録されたデータは、オフラインで画面へ再展開、再計算が自由にできる。

#### 諸元

##### 受信機

アンテナ	5/8 $\lambda$ ブラウン アンテナ
受信周波数	169.65 MHz
電波の型式	F2D
入力インピーダンス	50 $\Omega$
受信感度	雑音抑圧20dBのとき 6dB/ $\mu$ V 以下
通過帯域幅	6dB 低下点で12KHz 以上

##### コンピュータ

CPU	$\mu$ PD70216
メモリ	ROM 日本語MS-DOS, N88-日本語BASIC RAM 日本語システム64K, ユーザー 640Kバイト

表示機能	VRAM 32Kバイト 液晶, 640×400ドット,
記憶装置	3.5" 1Mバイトフロッピディスク1ドライブ内蔵
インターフェース	プリンタ, RS 232C
拡張スロット	1スロット, モデムボード専用
使用条件	温度10~35°C, 湿度20~80%
電源	AC 100V,

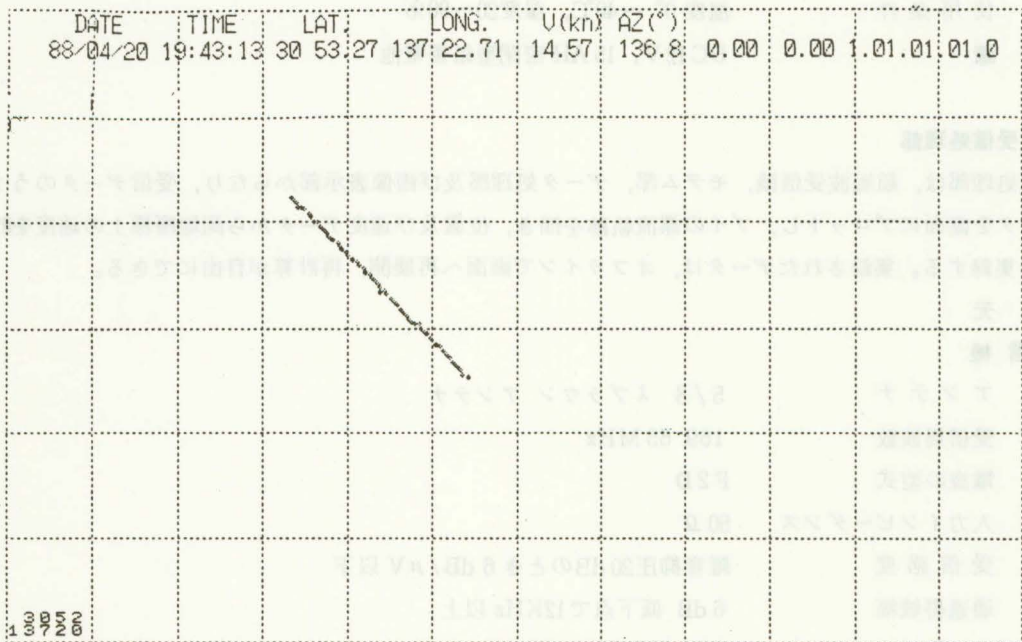
## 6. 処理プログラム

プログラムは、ロランC受信機出力データをそのまま全部伝送するとデータ量が膨大になるので、送信部で所要の前処理を行う送信プログラムと、受信側で船速計算、ブイの流跡のイメージ表示、データ集録を行う受信プログラムから成る。

送信側計算機は省電力のため、ポケコンを使用したので計算速度が遅く、計算順序、入力の集中化等の工夫で対処した。

## 7. 測定例

第3図にオンラインで描かせた遠隔表示航跡図、第1表に集録データの一例を示した。この例は、ブイを海上に漂流させた状態ではなく船の甲板上に置いて航行した場合のテストデータである。



第3図 液晶ディスプレイ表示画面のハードコピー例

画面上部の数値は実時間で更新されるデータで航跡図の終点位置に対応する。



第1表 遠隔データ処理集録データの一例

TIME		LAT.	LONG.	-----Doppler-----				SPD	AZ	Correction				
h	m	s	°	'	°	'	dw	dx	dy	dz	kn	°	dN	dE
BUY119:37:52	30	54.11	137	21.67	99	1767	1775	0	13.93	136.5	0.00	0.00		
BUY119:37:55	30	54.10	137	21.69	91	1760	1783	0	13.98	136.2	0.00	0.00		
BUY119:37:58	30	54.10	137	21.69	83	1752	1790	0	14.01	135.9	0.00	0.00		
BUY119:38:01	30	54.09	137	21.70	76	1745	1798	0	14.05	135.6	0.00	0.00		
BUY119:38:04	30	54.07	137	21.71	68	1737	1805	0	14.08	135.2	0.00	0.00		
BUY119:38:07	30	54.07	137	21.71	61	1745	1813	0	14.17	135.2	0.00	0.00		
BUY119:38:10	30	54.07	137	21.73	46	1752	1821	0	14.29	135.0	0.00	0.00		
BUY119:38:13	30	54.06	137	21.75	30	1760	1828	0	14.41	134.9	0.00	0.00		
BUY119:38:16	30	54.06	137	21.75	15	1767	1821	0	14.46	135.0	0.00	0.00		
BUY119:38:19	30	54.04	137	21.77	0	1775	1805	0	14.48	135.2	0.00	0.00		
BUY119:38:22	30	54.03	137	21.78	-15	1783	1783	0	14.48	135.5	0.00	0.00		
BUY119:38:25	30	54.03	137	21.78	-30	1790	1775	0	14.53	135.6	0.00	0.00		
BUY119:38:28	30	54.02	137	21.78	-46	1790	1767	0	14.56	135.6	0.00	0.00		
BUY119:38:31	30	54.00	137	21.80	-61	1790	1760	0	14.58	135.5	0.00	0.00		
BUY119:38:34	30	54.00	137	21.80	-68	1783	1752	0	14.55	135.5	0.00	0.00		
BUY119:38:37	30	54.00	137	21.82	-76	1775	1760	0	14.58	135.1	0.00	0.00		
BUY119:38:40	30	53.98	137	21.84	-76	1767	1760	0	14.55	135.0	0.00	0.00		
BUY119:38:43	30	53.98	137	21.84	-76	1775	1760	0	14.58	135.1	0.00	0.00		
BUY119:38:46	30	53.97	137	21.85	-76	1783	1760	0	14.61	135.3	0.00	0.00		
BUY119:38:49	30	53.96	137	21.86	-76	1790	1760	0	14.64	135.4	0.00	0.00		
BUY119:38:52	30	53.96	137	21.86	-76	1798	1760	0	14.67	135.5	0.00	0.00		
BUY119:38:55	30	53.95	137	21.88	-76	1798	1760	0	14.67	135.5	0.00	0.00		
BUY119:38:58	30	53.93	137	21.89	-61	1798	1760	0	14.61	135.6	0.00	0.00		
BUY119:39:01	30	53.93	137	21.89	-46	1798	1760	0	14.55	135.8	0.00	0.00		
BUY119:39:04	30	53.92	137	21.91	-30	1798	1767	0	14.52	135.8	0.00	0.00		
BUY119:39:07	30	53.92	137	21.92	-15	1798	1775	0	14.50	135.9	0.00	0.00		
BUY119:39:10	30	53.92	137	21.92	0	1798	1798	0	14.54	135.7	0.00	0.00		
BUY119:39:13	30	53.90	137	21.94	15	1798	1813	0	14.54	135.6	0.00	0.00		
BUY119:39:16	30	53.89	137	21.95	30	1798	1828	0	14.55	135.5	0.00	0.00		
BUY119:39:19	30	53.89	137	21.95	46	1798	1836	0	14.52	135.5	0.00	0.00		
BUY119:39:22	30	53.87	137	21.96	61	1805	1843	0	14.52	135.7	0.00	0.00		
BUY119:39:25	30	53.87	137	21.97	76	1813	1843	0	14.49	135.9	0.00	0.00		
BUY119:39:28	30	53.87	137	21.97	76	1821	1843	0	14.53	136.1	0.00	0.00		
BUY119:39:31	30	53.86	137	21.99	76	1821	1843	0	14.53	136.1	0.00	0.00		
BUY119:39:34	30	53.84	137	22.00	83	1821	1843	0	14.50	136.1	0.00	0.00		
BUY119:39:37	30	53.84	137	22.00	91	1821	1843	0	14.47	136.2	0.00	0.00		
BUY119:39:40	30	53.83	137	22.03	106	1821	1843	0	14.41	136.4	0.00	0.00		
BUY119:39:43	30	53.82	137	22.03	121	1821	1843	0	14.35	136.5	0.00	0.00		
BUY119:39:46	30	53.82	137	22.03	137	1821	1843	0	14.29	136.7	0.00	0.00		
BUY119:39:49	30	53.81	137	22.06	152	1821	1843	0	14.24	136.8	0.00	0.00		
BUY119:39:52	30	53.80	137	22.07	167	1821	1843	0	14.18	137.0	0.00	0.00		
BUY119:39:55	30	53.80	137	22.07	182	1821	1843	0	14.13	137.1	0.00	0.00		
BUY119:39:58	30	53.78	137	22.09	197	1821	1836	0	14.04	137.4	0.00	0.00		
BUY119:40:01	30	53.77	137	22.10	212	1821	1828	0	13.95	137.7	0.00	0.00		
BUY119:40:04	30	53.77	137	22.10	220	1821	1813	0	13.86	138.0	0.00	0.00		
BUY119:40:07	30	53.76	137	22.10	235	1821	1813	0	13.81	138.2	0.00	0.00		
BUY119:40:10	30	53.75	137	22.13	250	1828	1813	0	13.78	138.5	0.00	0.00		
BUY119:40:13	30	53.75	137	22.13	265	1828	1813	0	13.73	138.6	0.00	0.00		
BUY119:40:16	30	53.74	137	22.14	288	1828	1813	0	13.64	138.9	0.00	0.00		
BUY119:40:19	30	53.73	137	22.15	311	1828	1813	0	13.56	139.2	0.00	0.00		
BUY119:40:22	30	53.73	137	22.15	311	1828	1805	0	13.53	139.3	0.00	0.00		
BUY119:40:25	30	53.72	137	22.16	319	1828	1798	0	13.47	139.5	0.00	0.00		
BUY119:40:28	30	53.71	137	22.18	311	1828	1790	0	13.47	139.6	0.00	0.00		
BUY119:40:31	30	53.71	137	22.18	303	1828	1783	0	13.47	139.6	0.00	0.00		
BUY119:40:34	30	53.69	137	22.19	281	1828	1775	0	13.52	139.5	0.00	0.00		

8. あとがき

この装置の最大の特徴は複雑な海流の実態を海況による障害を受けることなく、正確に表現できる流れ・流速が時間的に細かく遠隔記録できることである。実験機は昭和60年度に製作され、重量140kgと形状も大



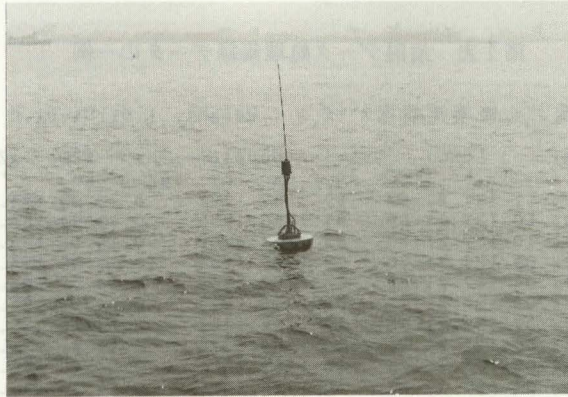


写真1 洋上の漂流ブイ

きく使い勝手が悪かったが、実用化を目指した今回の装置は前述のとおり小型軽量化され、一人で容易に扱えるようになるとともに、ソフトウェアもその後考案された「電波速度計」\*の原理を採用したので精度が一段と向上している。従ってその他の流速計の検定基準としても有効である。また本装置は、海潮流の測定が主たる目的であるが、測地経緯度が正確に求まるので測位装置の装備されていないボートに乗せたり、流木に結びつけて漂流状況の遠隔監視、漂流実験に利用できる。

この装置の一号機が、昨年第十管区海上保安本部に配備され、鹿児島湾、南西諸島周辺の複雑な海潮流を示す海域で試験的に利用を開始した。また本年度末には第二管区本部に配備された。本装置が海上保安、漂流予測業務に有効に活用されることを期待している。

最後に本装置の小型軽量化を実現した(株)光電製作所の努力に感謝します。

\* 昭和62年海上保安庁長官より特許出願中

## 参 考 文 献

- 小野房吉：電波航法の新しい測位原理と測位精度の評価，航海，79，P. 35-40 (1984)，日本航海学会  
 小野房吉他：緊急用海潮流測定装置の研究開発，本誌，4，p. 84-86 (1986)  
 小野房吉他：ロランC電波による海潮流の測定とデータ伝送，本誌，5，P. 133-136 (1987)  
 小野房吉：ロランCシステムの高精度利用，電波航法，33，P. 3-8 (1988) 電波航法研究会

## 付 録

### (1) 地球上2点を結ぶ測地線の距離の算式

2点の測地経緯度をそれぞれ $(\phi_1, \lambda_1)$ ， $(\phi_2, \lambda_2)$ ，地球の長半径をa，短半径をbとし測地線の距離dを求める。

$$\beta = \tan^{-1}(\tan \phi \cdot b/a) \quad (1)$$

$$x = \cos^{-1}\{\sin \beta_1 \sin \beta_2 + \cos \beta_1 \cos \beta_2 \cos (\lambda_1 - \lambda_2)\} \quad (2)$$

$$A = (\sin \beta_1 + \sin \beta_2)^2 \quad (3)$$

$$B = (\sin \beta_1 - \sin \beta_2)^2 \quad (4)$$

$$P = (a - b)(x - \sin x) / \{4(1 + \cos x)\} \quad (5)$$

$$Q = (a - b)(x + \sin x) / \{4(1 - \cos x)\} \quad (6)$$

$$d = ax - AP - BQ \quad (7)$$

### (2) 電波伝播時間を求める実験式

電波伝播速度  $v$  (km/ $\mu$ sec), 電波伝播時間を  $\tau$  ( $\mu$ sec) とすると

$$\tau = d/v + \alpha_1 \cdot d + \alpha_2 + \alpha_3/d \quad (8)$$

ただし  $v = 0.299712$

$$\alpha_1 = 0.00215$$

$$\alpha_2 = -0.4076$$

$$\alpha_3 = 38.67$$

### (3) 方位

位置  $(\phi_1, \lambda_1)$  から見た位置  $(\phi_2, \lambda_2)$  の北から東回りにとった方位  $z$  は, (2)式で求めた角距離  $x$  をつかうと

$$\theta = \cos^{-1} \{ \sin \phi_1 - \sin \phi_2 \cos x / (\sin x \cos \phi_1) \} \quad (9)$$

$$z = \theta \quad \text{ただし} \quad \sin(\lambda_2 - \lambda_1) \geq 0$$

$$z = \pi - \theta \quad \sin(\lambda_2 - \lambda_1) < 0$$

## 報告者紹介



Fusakichi Ono

小野 房吉 平成元年3月現在,  
本庁水路部企画課海洋研究室研究官



Kiyoshi Sakuma

佐久間 清 平成元年3月現在,  
本庁水路部企画課海洋研究室研究官